

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-346957

(43)Date of publication of application : 04.12.2002

(51)Int.Cl.

B25J 5/00

B25J 13/00

(21)Application number : 2001-151562

(71)Applicant : UNIV WASEDA

(22)Date of filing : 21.05.2001

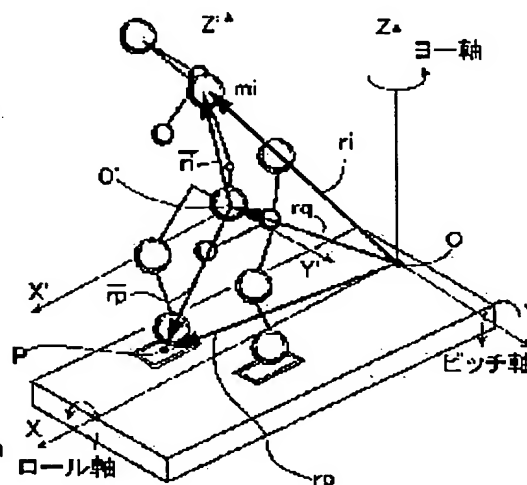
(72)Inventor : TAKANISHI ATSUO
 HAYASHI KENGYOKU
 KANESHIMA YOSHIHARU
 ANDO SHUNPEI
 SATO MOTOHIRO
 SUGAWARA YUSUKE

(54) MOVEMENT TRAJECTORY CONTROL METHOD FOR BIPEDAL WALKING ROBOT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a movement trajectory control method for a bipedal walking robot that can generate a pattern in the middle of walking, generate a real-time walking pattern and realize follow-up motion after a human by clarifying a parameter with a small effect on walking in compensatory trajectory generation and remarkably shortening compensatory trajectory generating time.

SOLUTION: The movement trajectory control method for a bipedal walking robot computes a moment-compensatory trajectory of each joint for a trunk region and a waist region separately, decides moment-compensatory trajectory computing algorithm considering cooperation between the trunk region and the waist region, and uses it to prepare a walking pattern on a real-time basis in the middle of walking.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-346957

(P2002-346957A)

(43) 公開日 平成14年12月4日 (2002. 12. 4)

(51) IntCl.⁷

B 2 5 J 5/00
13/00

識別記号

F I

B 2 5 J 5/00
13/00

テ-マコード (参考)

F 3 C 0 0 7
Z

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2001-151562 (P2001-151562)

(22) 出願日 平成13年5月21日 (2001. 5. 21)

(71) 出願人 899000068

学校法人 早稲田大学

東京都新宿区戸塚町1丁目104番地

(72) 発明者 高西 淳夫

東京都新宿区大久保三丁目4番1号 早稲
田大学理工学部内

(72) 発明者 林 憲玉

東京都新宿区大久保三丁目4番1号 早稲
田大学理工学部内

(72) 発明者 金島 義治

東京都足立区大谷町1-34-5

(74) 代理人 100080089

弁理士 牛木 護 (外1名)

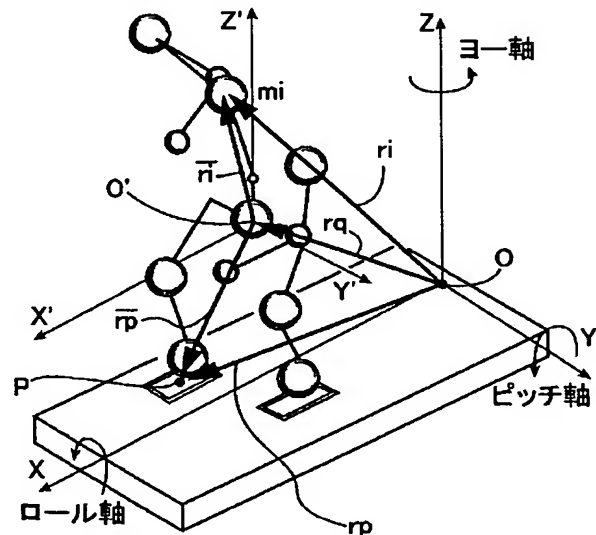
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 2足歩行型ロボットの動作軌道制御方法

(57) 【要約】

【目的】 補償軌道生成において歩行に影響の少ないパラメータを明確にし、補償軌道生成時間を大幅に短縮でき、これによって歩行中のパターン生成を可能にし、リアルタイムな歩行パターン生成により人への追従運動を実現できる2足歩行型ロボットの動作軌道制御方法を提供する。

【構成】 この2足歩行型ロボットの動作軌道制御方法は、各関節のモーメント補償軌道を体幹部と腰部とに分けて算出し、体幹部と腰部の協調によるモーメント補償軌道算出アルゴリズムを決定し、これを用いて歩行パターンを歩行中にリアルタイムで作成するようにしたものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】人間型2足歩行型ロボットにおいて、視覚センサ及び／又は音声入力センサからの歩行パターン変更情報を認識し、この歩行パターン変更情報に従って歩行パターンをリアルタイムで変更可能としたことを特徴とする2足歩行型ロボットの動作軌道制御方法。

【請求項2】体各部の協調によるモーメント補償軌道算出アルゴリズムを用い、モーメント補償量を身体各部に分けて軌道を算出することにより、歩行パターンを歩行中にリアルタイムで作成することを特徴とする請求項1記載の2足歩行型ロボットの動作軌道制御方法。

【請求項3】前記モーメント補償軌道算出アルゴリズムの作成に際して体各部の制御用とパターン生成用にコンピュータを分けて行うことを特徴とする請求項2記載の2足歩行型ロボットの動作軌道制御方法。

【請求項4】ロボット本体部に、歩行パターン作成に必要な足先軌道の指定に用いる視覚センサおよび／またはマイク音による音声入力センサを設け、前記視覚センサによりステレオ視または単眼によるジェスチャー認識を行って足先軌道生成のための歩幅を決定し、前記音声入力センサは予め設定したコマンドにのみ反応し、かつ音声入力単語により予め単語に関連付けて設定した歩幅を選択するようにしたことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項記載の2足歩行型ロボットの動作軌道制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術の分野】本発明は、2足歩行型ロボットの動作軌道制御方法、特にロボットの補償軌道生成において歩行に影響の少ないパラメータを設定し、動作補償軌道生成時間を大幅に短縮することで歩行中のパターン生成を可能とし、リアルタイムな歩行パターンを生成するようにした2足歩行型ロボットの動作軌道制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】2足歩行型ロボット、特にヒューマノイドロボットは、その活動の場所が主として人間の住環境に近い場所であることから、外部環境を認識しロボット自身が判断して次の運動を決定していくという非常に柔軟な適応が要求される。

【0003】近年のこの種のロボット研究、開発によれば、6軸力センサを用いて人間への追従運動という形でこのような外部環境への適用運動が研究されている。これは、6軸力センサからの情報を外部環境情報とし、それに応じて予め作成しておいた単位パターンを順次出力することでその環境に適応、即ち追従していくようにしたものである。

【0004】また他の例として、日本語での簡単な会話、2眼視による対象物の認識と歩行パターン、距離の測定、2足歩行による移動および触覚を有する両手での

物体の把握や移動を行うことが可能な人間形知能ロボットが開発され、さらに、ロボットの活動の場として芸術活動に的を絞り、楽譜を目で認識し、両手、両足により電子オルガンを演奏することができる鍵盤楽器演奏ロボットも開発されている。このロボットは人間との簡単な会話的やり取り、あるいは人間の歌声の音程認識を行い、その音程に合わせたオルガンの伴奏まで行うことができる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上述した6軸力センサからの情報を外部環境情報として、これに応じて予め作成しておいた単位パターンを順次出力することによってその環境に適応、追従させるヒューマノイドロボットは外部環境への適応という点では画期的であるものの、予め与えたパターンでしか運動することができず、多様な運動の実現には膨大な量の単位パターンが必要となってしまう。またメモリ容量の制約の問題もあり、補償軌道生成に要する時間がかかり過ぎるということでも問題があった。

【0006】そこで本発明は、補償軌道生成において歩行に影響の少ないパラメータを明確にし、補償軌道生成時間を大幅に短縮でき、これによって歩行中のパターン生成を可能にし、人への追従運動を実現できる2足歩行型ロボットの動作軌道制御方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、人間型2足歩行型ロボットにおいて、視覚センサ及び／又は音声入力センサからの歩行パターン変更情報を認識し、この歩行パターン変更情報に従って歩行パターンをリアルタイムで変更可能とした2足歩行型ロボットの動作軌道制御方法が提供される。

【0008】また本発明によれば、体各部の協調によるモーメント補償軌道算出アルゴリズムを用い、モーメント補償量を身体各部に分けて軌道を算出することにより、歩行パターンを歩行中にリアルタイムで作成する2足歩行型ロボットの動作軌道制御方法が提供される。

【0009】本発明によれば、前記モーメント補償軌道算出アルゴリズムの作成に際して体各部の制御用とパターン生成用にコンピュータを分けて行う2足歩行型ロボットの動作軌道制御方法が提供される。

【0010】さらに本発明によれば、ロボット本体部に、歩行パターン作成に必要な足先軌道の指定に用いる視覚センサおよび／またはマイク音による音声入力センサを設け、前記視覚センサによりステレオ視または単眼によるジェスチャー認識を行って足先軌道生成のための歩幅を決定し、前記音声入力センサは予め設定したコマンドにのみ反応し、かつ音声入力単語により予め単語に関連付けて設定した歩幅を選択するようにした2足歩行型ロボットの動作軌道制御方法が提供される。

【0011】

【発明の実施の形態】次に、本発明の好適な実施形態について図面を参照して説明する。

【0012】まず、本発明に係る腰・体幹協調型モーメント補償軌道算出アルゴリズムを中心にしてその作成方法を説明する。なお、ここでは全身運動時における2足ヒューマノイドロボットの安全性（姿勢状態の安全性）を力学的視点から判定するために、ZMP安定判別規範を用いる。以下このZMPおよびZMP安定判別規範について記述する。

【0013】2足ヒューマノイドロボットが全身運動中に安定な支持状態を維持するために、必要な条件について考える。2足ヒューマノイドロボットが安定な支持状態を保てなくなる、つまり転倒するということは、足底部と路面との接点（3点以上）が形成する支持多角形

（路面と足底接地点が形成する面積最大の凸多角形）の或る辺または点を通る路面上の直線を軸に回転運動をしていると考えられる。即ち支持多角形から見て外向きのモーメントが作用していると考えられる。逆にいえば、図1に示す如く、支持多角形A上のすべての辺および点まわりに外向きのモーメントが発生せず、内向きのモーメントMのみが発生していれば、2足ヒューマノイドロボットは安定な支持状態を維持できる。Fは各点に作用する力の合力である。

【0014】このときの2足ヒューマノイドロボットの支持状態を考えると、足底の接地点が浮かないため、すべての接地点において2足ヒューマノイドロボットから路面に作用する重力および慣性力による力は路面を押す向きであり、これらの合力が作用する点Pは足底の支持多角形A内になければならない。この点P回りの合力によるモーメントは明らかにゼロであり、この点をZMP（ゼロモーメントポイント）称する。つまりZMPとは路面上において2足ヒューマノイドロボットの各部の重力および慣性力によるモーメントがゼロになる点である。また、「運動中のあらゆる瞬間において、ZMPが支持多角形内に存在し、かつ2足ヒューマノイドロボットから路面に作用する力が路面を押す向きであれば、2足ヒューマノイドロボットは安定して運動を継続できる」といえる。これをZMP安定判別規範と称する。

【0015】モーメント補償軌道算出アルゴリズムでは、このZMP安定判別規範を2足ヒューマノイドロボットの全身運動時におけるZMP上のピッチ軸およびロール軸方向の歩行パターンの安定判別に用いる。また、従来と同様に2足ヒューマノイドロボットのヨー軸回りの運動を安定化するためにZMP上のヨー軸回りのモーメントも補償する。

【0016】次に、モーメント補償軌道算出アルゴリズムについて説明する。

【0017】本アルゴリズムの骨子は以下の5点からなる。

【0018】（イ）ヒューマノイドロボットのモデル化

（ロ）上記イのモデルにおけるZMP方程式の導出

（ハ）ヒューマノイドロボット近似モデル化

（ニ）近似モデルにおける被補償モーメントを腰と体幹に配分

（ホ）上記ハの近似モデルを用いた繰り返し計算による上記ロを満足するモーメント補償軌道の厳密解の算出

（１）ヒューマノイドロボットのモデル化について

図2はヒューマノイドロボットの各質点の座標系およびこれに作用する力のベクトル表示を示す図である。まず最初に、ヒューマノイドロボット、座標系および路面に次の条件を設定する。

【0019】（イ）ヒューマノイドロボットは質点の集合によりなる（図2）。

【0020】（ロ）路面は十分に硬く、どんな力やモーメントが作用しても変位したり動いたりすることはない。

【0021】（ハ）X軸（ヒューマノイドロボットの正面方向に一致）およびY軸を含む平面が路面に一致し、路面に垂直な軸をZ軸とする直交座標系O（右手系）を図2の如く設定する。

【0022】（ニ）ヒューマノイドロボットの足底と路面との接地状況は点接地の集合とする。

【0023】（ホ）歩行系と路面との接地点において、路面での回転（X、YおよびZ軸回り）に対する摩擦係数は無視する。

【0024】（ヘ）ヒューマノイドロボットが歩行する際の推進力は、接地点における並進（XおよびY軸）方向の滑りが生じない範囲とする。

【0025】（２）ZMP方程式の算出について
以上の仮定と設定のもとに絶対座標系（O-XYZ）において任意の点Pについてのモーメントの釣合い式を導出すると、次式を得る。

【0026】

【数1】

$$\sum_i^{\text{All Particles}} m_i (\vec{r}_i - \vec{r}_P) \times (\vec{\ddot{r}}_i - \vec{G}) - \sum_k^{\text{All Points}} \{ (\vec{r}_{Pk} - \vec{r}_P) \times \vec{F}_k + \vec{M}_k \} + \vec{T} = \vec{0}$$

(2.1)

【0027】式（2.1）において、点PをZMPとすることで、 $\vec{T} = \vec{0}$ により次式のZMP方程式を得る。

【0028】

【数2】

$$\begin{aligned} & \sum_i^{\text{All Particles}} m_i (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_{ZMP}) \times (\ddot{\mathbf{r}}_i - \mathbf{G}) \\ & - \sum_k^{\text{All Points}} \{ (\mathbf{r}_{Pk} - \mathbf{r}_{ZMP}) \times \mathbf{F}_k + \mathbf{M}_k \} = 0 \end{aligned}$$

(2.2) *

$$\begin{aligned} & \sum_i^{\text{All Particles}} m_i (\bar{\mathbf{r}}_i - \bar{\mathbf{r}}_{ZMP}) \times \{ \ddot{\bar{\mathbf{r}}}_i + \ddot{\bar{\mathbf{Q}}} - \bar{\mathbf{G}} \\ & + \dot{\bar{\boldsymbol{\omega}}} \times \bar{\mathbf{r}}_i + 2\bar{\boldsymbol{\omega}} \times \dot{\bar{\mathbf{r}}}_i + \bar{\boldsymbol{\omega}} \times (\bar{\boldsymbol{\omega}} \times \bar{\mathbf{r}}_i) \} \\ & - \sum_k^{\text{All Points}} \{ (\bar{\mathbf{r}}_{Pk} - \bar{\mathbf{r}}_{ZMP}) \times \bar{\mathbf{F}}_k + \bar{\mathbf{M}}_k \} = 0 \end{aligned}$$

(2.3)

【0031】このZMP方程式を満たすように体幹部および腰部の軌道を算出する。

【0032】(3) ヒューマノイドロボットの近似モデル化について

本アルゴリズムではモーメント補償軌道の近似解の算出とその厳密モデルへの代入、そしてモーメント誤差をフィードバック、蓄積する繰り返し計算によりモーメント補償軌道の厳密解を得ている。その近似モデル化のプロセスは以下の通りである。

【0033】(a) 外力は近似モデルでは考慮しない。

【0034】(b) 腰、体幹、上肢、頭部などの下肢以外の部位は4質点近似モデルとする(図3)。

【0035】(c) 線形、非干渉化のために運動座標系の回転は考慮しない(ただし、体幹ヨー軸に関しては線形、非干渉化できる範囲でその一部を考慮している)。

【0036】(d) Z軸の運動を共有しないものとして線形、非干渉化する。

【0037】まず、外力を近似モデルで考慮しないとす※

$$\begin{aligned} & m_U \bar{\mathbf{r}}_U \times \{ \ddot{\bar{\mathbf{r}}}_U \\ & + \dot{\bar{\boldsymbol{\omega}}} \times \bar{\mathbf{r}}_U + 2\bar{\boldsymbol{\omega}} \times \dot{\bar{\mathbf{r}}}_U + \bar{\boldsymbol{\omega}} \times (\bar{\boldsymbol{\omega}} \times \bar{\mathbf{r}}_U) \} \\ & + m_T (\bar{\mathbf{r}}_T - \bar{\mathbf{r}}_{ZMP}) \times \{ \ddot{\bar{\mathbf{r}}}_T + \ddot{\bar{\mathbf{Q}}} - \bar{\mathbf{G}} \\ & + \dot{\bar{\boldsymbol{\omega}}} \times \bar{\mathbf{r}}_T + 2\bar{\boldsymbol{\omega}} \times \dot{\bar{\mathbf{r}}}_T + \bar{\boldsymbol{\omega}} \times (\bar{\boldsymbol{\omega}} \times \bar{\mathbf{r}}_T) \} \\ & + m_W (\bar{\mathbf{r}}_W - \bar{\mathbf{r}}_{ZMP}) \times \{ \ddot{\bar{\mathbf{r}}}_W + \ddot{\bar{\mathbf{Q}}} - \bar{\mathbf{G}} \\ & + \dot{\bar{\boldsymbol{\omega}}} \times \bar{\mathbf{r}}_W + 2\bar{\boldsymbol{\omega}} \times \dot{\bar{\mathbf{r}}}_W + \bar{\boldsymbol{\omega}} \times (\bar{\boldsymbol{\omega}} \times \bar{\mathbf{r}}_W) \} \\ & = -\mathbf{M} \end{aligned}$$

(2.5)

* 【0029】さらに、各部の相対運動を考えるために、図2に示す2足ヒューマノイドロボットの腰部付近に固定された運動座標系(O' - X' Y' Z')を設定する。この座標系を用いてZMP方程式を表わすと次式を得る。

【0030】

【数3】

※ると、式(2.3)は次のようになる。

【0038】

【数4】

$$\begin{aligned} & \sum_i^{\text{All Particles}} m_i (\bar{\mathbf{r}}_i - \bar{\mathbf{r}}_{ZMP}) \times \{ \ddot{\bar{\mathbf{r}}}_i + \ddot{\bar{\mathbf{Q}}} - \bar{\mathbf{G}} \\ & + \dot{\bar{\boldsymbol{\omega}}} \times \bar{\mathbf{r}}_i + 2\bar{\boldsymbol{\omega}} \times \dot{\bar{\mathbf{r}}}_i + \bar{\boldsymbol{\omega}} \times (\bar{\boldsymbol{\omega}} \times \bar{\mathbf{r}}_i) \} = 0 \end{aligned}$$

(2.4)

【0039】上肢質点の近似モデル化は、図3に示すように、上肢の全質点を肩部に集中し、体幹部が3質点、腰部が1質点の近似モデルとする。ここで被補償モーメントとなる下肢の運動により発生するモーメントをMとおき、4質点近似モデル化を行うと式(2.4)は次のようになる。

【0040】

【数5】

【0041】式(2.5)は、運動座標系の回転により発生する見かけの力の項において互いに干渉している。したがって、これらの微分方程式を非干渉なものにするためには、まずその見かけの力によるモーメントが発生しないものと仮定、つまり運動座標系が回転していないものとする、式(2.5)は式(2.6)～(2.8)のようになる。なお、ヨー軸に関しては運動座標系の回転が線形、非干渉化に影響しない(既知モーメントとして右辺に移項できる)項があるので、その項に関しては近似モデルにおいても計算を行っている。

【0042】ピッチ軸；

※ 【数6】

$$\begin{aligned} & m_U(\ddot{x}_T - \ddot{x}_{2\sigma}) - \ddot{x}_T \ddot{x}_T \\ & + m_T(\ddot{x}_T - \ddot{x}_{2\sigma})(\ddot{x}_T + \ddot{x}_q - \ddot{g}_x) - m_T(\ddot{x}_T - \ddot{x}_{2\sigma})(\ddot{x}_T + \ddot{x}_q - \ddot{g}_x) \\ & + m_W(\ddot{x}_W - \ddot{x}_{2\sigma})(\ddot{x}_W + \ddot{x}_q - \ddot{g}_x) - m_W(\ddot{x}_W - \ddot{x}_{2\sigma})(\ddot{x}_W + \ddot{x}_q - \ddot{g}_x) \\ & = -M_y \end{aligned}$$

(2.6)

ロール軸；

※ ※ 【数7】

$$\begin{aligned} & m_U(\ddot{y}_T \ddot{x}_T - \ddot{x}_T \ddot{y}_T) \\ & + m_T(\ddot{y}_T - \ddot{y}_{2\sigma})(\ddot{x}_T + \ddot{x}_q - \ddot{g}_x) - m_T(\ddot{x}_T - \ddot{x}_{2\sigma})(\ddot{y}_T + \ddot{y}_q - \ddot{g}_y) \\ & + m_W(\ddot{y}_W - \ddot{y}_{2\sigma})(\ddot{x}_W + \ddot{x}_q - \ddot{g}_x) - m_W(\ddot{x}_W - \ddot{x}_{2\sigma})(\ddot{y}_W + \ddot{y}_q - \ddot{g}_y) \\ & = -M_x \end{aligned}$$

(2.7)

ヨー軸；

★ ★ 【数8】

$$\begin{aligned} & m_U(\ddot{x}_T \ddot{y}_T - \ddot{y}_T \ddot{x}_T + 2(\ddot{x}_T \ddot{x}_T + \ddot{y}_T \ddot{y}_T) \ddot{\omega}_z + (\ddot{x}_T^2 + \ddot{y}_T^2) \ddot{\omega}_z) \\ & + m_T(\ddot{x}_T - \ddot{x}_{2\sigma})(\ddot{y}_T + \ddot{y}_q - \ddot{g}_y) - m_T(\ddot{y}_T - \ddot{y}_{2\sigma})(\ddot{x}_T + \ddot{x}_q - \ddot{g}_x) \\ & + m_W(\ddot{x}_W - \ddot{x}_{2\sigma})(\ddot{y}_W + \ddot{y}_q - \ddot{g}_y) - m_W(\ddot{y}_W - \ddot{y}_{2\sigma})(\ddot{x}_W + \ddot{x}_q - \ddot{g}_x) \\ & = -M_z \end{aligned}$$

(2.8)

【0043】式(2.6)～(2.8)はZ軸方向の運動を共有し、また下肢と体幹が回転型の関節を介して連結していることから非線形かつ干渉な系である。そこでヒューマノイドロボットは、運動中、腰高さ一定、また体幹部アーム(体幹中央質点より両肩部質点へと至るアーム)は水平面内を回転し、体幹質点はZ軸方向に関し

☆ 運動しないものと仮定し、線形、非干渉化する。

【0044】ヨー軸アクチュエータの回転角度 θ_y 、体幹部アームのアームベクトル $r_{r'}$ の長さをRとすると次の3式を得る。

【0045】ピッチ軸；
【数9】

$$\begin{aligned} & m_T(\ddot{x}_T - \ddot{x}_{2\sigma})(\ddot{x}_T + \ddot{x}_q) - m_T(\ddot{x}_T - \ddot{x}_{2\sigma})(-\ddot{g}_x) \\ & + m_W(\ddot{x}_W - \ddot{x}_{2\sigma})(\ddot{x}_W + \ddot{x}_q) - m_W(\ddot{x}_W - \ddot{x}_{2\sigma})(-\ddot{g}_x) \\ & = -M_y \end{aligned}$$

(2.9)

ロール軸；

【数10】

$$\begin{aligned}
& m_T(\ddot{y}_T - \ddot{y}_{2\sigma})(-\bar{g}_z) - m_T(\ddot{z}_T - \ddot{z}_{2\sigma})\ddot{\theta}_T + \ddot{y}_q) \\
& + m_W(\ddot{y}_W - \ddot{y}_{2\sigma})(-\bar{g}_z) - m_W(\ddot{z}_W - \ddot{z}_{2\sigma})\ddot{\theta}_W + \ddot{y}_q) \\
& = -M_z
\end{aligned}
\tag{2.10}$$

ヨー軸；

* * 【数11】

$$\begin{aligned}
& m_U R^2(\ddot{\theta}_y + \dot{\omega}_z) \\
& + m_T(\ddot{x}_T - \ddot{x}_{2\sigma})\ddot{\theta}_T + \ddot{y}_q) - m_T(\ddot{y}_T - \ddot{y}_{2\sigma})(\ddot{x}_T + \ddot{x}_q) \\
& + m_W(\ddot{x}_W - \ddot{x}_{2\sigma})\ddot{\theta}_W + \ddot{y}_q) - m_W(\ddot{y}_W - \ddot{y}_{2\sigma})(\ddot{x}_W + \ddot{x}_q) \\
& = -M_z
\end{aligned}
\tag{2.11}$$

【0046】また、式(2.9)～(2.11)において、左辺の既知項を右辺に移動し、式(2.12)～(2.14)において右辺を改めて次式 $-M' = -[M$

$$\begin{aligned}
& m_T(\ddot{z}_T - \ddot{z}_{2\sigma})\ddot{x}_T - m_T(-\bar{g}_z)\ddot{x}_T \\
& + m_W(\ddot{z}_W - \ddot{z}_{2\sigma})\ddot{x}_W - m_W(-\bar{g}_z)\ddot{x}_W = -M',
\end{aligned}
\tag{2.12}$$

【0047】ピッチ軸；

ロール軸；

【数12】

* * 【数13】

$$\begin{aligned}
& -m_T(\ddot{z}_T - \ddot{z}_{2\sigma})\ddot{y}_T + m_T(-\bar{g}_z)\ddot{y}_T \\
& -m_W(\ddot{z}_W - \ddot{z}_{2\sigma})\ddot{y}_W + m_W(-\bar{g}_z)\ddot{y}_W = -M'
\end{aligned}
\tag{2.13}$$

ヨー軸；

★30★【数14】

$$m_U R^2 \ddot{\theta}_y = -M'
\tag{2.14}$$

【0048】(4)腰と体幹の協調に関する関係式の導入と近似解の算出について

モーメント補償軌道 x_r' 、 x_w' 、 y_r' 、 y_w' の近似解を求めるために、式(2.12)～(2.14)を用いて解析的に近似解を得る。しかし、腰と体幹各々の x' と y' の計4つの近似が未知であるため、式(2.12)、(2.13)の2式だけでは十分な方程式が存在していないため、ピッチおよびロール軸に関するモーメント補償軌道の近似解を特定できない。

【0049】そこで本アルゴリズムでは、近似モデルにおける被補償モーメント(つまり式(2.12)、

(2.13)の右辺)を腰と体幹にそれぞれ配分することにより、式(2.15)、(2.16)に示すように未知の4つのモーメント補償近似 x_r' 、 x_w' 、 y_r' 、 y_w' に対して4つの微分方程式をつくる。これにより、近似解を一意に特定できるようにする。

【0050】ピッチ軸；

【数15】

11

12

$$\begin{aligned}
& m_T(\ddot{z}_T - \ddot{z}_{ZMP})\ddot{x}_T - m_T(-\ddot{g}_x)\ddot{x}_T = -M^*_{yTRUNK} \\
& + m_W(\ddot{z}_W - \ddot{z}_{ZMP})\ddot{x}_W - m_W(-\ddot{g}_x)\ddot{x}_W = -M^*_{yWAIST} \\
& \text{ただし } M^*_{yTRUNK} + M^*_{yWAIST} = M^*_y
\end{aligned}
\tag{2.15}$$

ロール軸；

* * 【数16】

$$\begin{aligned}
& -m_T(\ddot{z}_T - \ddot{z}_{ZMP})\ddot{y}_T + m_T(-\ddot{g}_x)\ddot{y}_T = -M^*_{xTRUNK} \\
& -m_W(\ddot{z}_W - \ddot{z}_{ZMP})\ddot{y}_W + m_W(-\ddot{g}_x)\ddot{y}_W = -M^*_{xWAIST} \\
& \text{ただし } M^*_{xTRUNK} + M^*_{xWAIST} = M^*_x
\end{aligned}
\tag{2.16}$$

ヨー軸；

※ ※ 【数17】

ヨー軸；

$$m_J R^2 \ddot{\theta}_y = -M^*_x$$

(2.17)

【0051】ここで、式(2.15)において、 M^*_{yTRUNK} および M^*_{yWAIST} は下肢近似およびZMP近似から算出できるので既知関数となり、さらに定常歩行であるとすれば、ヒューマノイドロボットの各部質点並びにZMPは運動座標系($O' - X' Y' Z'$)に関して周期的な相対運動をするので、 M^*_{yTRUNK} および M^*_{yWAIST} はそれぞれ周期関数となる。したがって、式(2.15)の左辺も同じく周期関数となる。そこで、式(2.15)の2つの式の右辺をそれぞれフーリエ級数に展開し、また x_T' 、 x_W' をそれぞれ係数未知のフーリエ級数で表し、式(2.15)の2つの式の左辺にそれぞれ代入して各両辺のフーリエ係数を比較することで、 x_T' 、 x_W' それぞれのフーリエ係数を求める。そして、これを逆フーリエ級数展開することでピッチ軸回りのモーメント補償軌道 x_T' 、 x_W' の近似解を得ることができる。さらに、ロール軸回りのモーメント補償軌道 y_T' 、 y_W' も同様の方法で求める。

【0052】なお、本歩行制御方式では、ZMP上のヨー軸回りのモーメントに関しては体幹の運動のみで補償するものとしているので、ヨー軸のモーメント補償軌道である体幹ヨー軸軌道 θ_y は式(2.14)を用いてフーリエ係数比較法で算出する。ただし、フーリエ係数の中でオフセットに関する項は不定になる。これは、ピッチおよびロール軸軌道における重力項のように初期値を決定する項が存在しないためである。そこで、オフセッ

ト項に関しては、定常部においてアームの振れ幅が可動角範囲内に収まるように設定するなどの方法をとる。

【0053】(5) 繰り返し計算によるモーメント補償軌道の厳密解の算出について

2足ヒューマノイドロボットのモーメント補償軌道の厳密解を得るには、繰り返し計算手法を用いる。具体的には上記のように得られた近似解を厳密モデルの式である式(2.3)に代入し、その右辺と比較することで、設定ZMPにおけるモーメント誤差 $e_M = [e_{Mx}, e_{My}, e_{Mz}]^T$ を算出し、これらの誤差の符号を反転したものを式(2.15)～(2.17)の右辺に蓄積し、再び計算を実行し、モーメント誤差がある許容値 $e_M = [e_{Mx}, e_{My}, e_{Mz}]^T$ 以下になるまで繰り返し計算を行うことで、厳密解を得る。

【0054】しかし、このままでは厳密解を得るのに非常に多くの計算が必要になるため、本アルゴリズムでは、従来のアルゴリズムと同様にn回目の繰り返し計算に用いる蓄積したモーメント誤差 $E_n = [E_{Mx(n)}, E_{My(n)}, E_{Mz(n)}]^T$ を、収束の規則性を利用し、その極限値を式(2.18)を用いて推定しながら、繰り返し計算を行うことで計算時間の短縮を図る。なお、 e_{cn} は、n回目の繰り返し計算の後に算出されるモーメント誤差を示す。

【0055】

【数18】

$$E_n = \frac{2E_{n-1} + e_{(n-1)}}{2} \quad (n=3,4,5,\dots) \quad E_1=0, E_2=e_1$$

(2.18)

【0056】以上において、定常歩行における解法について述べたが、一般的な運動に関しても運動開始および終了の姿勢が同一であれば、運動開始および終了を含む一連の運動を1つの運動周期とし、その前後の停止姿勢の期間を十分に長くすることで、まったく同様のアルゴリズムによりモーメント補償軌道を算出することができる。

【0057】以上の2足ヒューマノイドロボットの「方向転換可能なモーメント補償量配分型の腰・体幹協調型モーメント補償軌道算出アルゴリズム」をフローチャートで表したものを図4に示す。

【0058】次に歩行パターンの作成について説明する。

【0059】2足ヒューマノイドロボットにおいて、全身運動を実現する際に、2足ヒューマノイドロボットに対して出力する各関節角度の時系列データ（ここではこれを歩行パターンと称する）を上述の腰と体幹の協調によるモーメント補償軌道算出アルゴリズムを用いて作成する手順は以下の5つの工程からなる。

【0060】(1) 足先軌道（および必要ならば手先軌道、体幹軌道）の設定

2足ヒューマノイドロボットの足先位置と姿勢（および手先位置と姿勢）としての時系列における代表的な点を各座標軸方向についての位置、速度および加速度までの連続性を考慮して、5次または6次の多項式を用いて補間し、足先軌道パターンとする。

【0061】(2) 初期設定下肢軌道の設定

上述の足先軌道を基に、まず腰部の初期設定軌道を指定する。なお、腰部質点をモーメント補償に用いない場合を除いて、腰部の座標は後のモーメント補償計算により変化する。次に腰部および足先軌道を基に、逆運動学計算により、下肢リンクの軌道を算出する。

【0062】(3) 設定ZMP軌道の設定

ZMPは足底が形成する安定領域内に設定する。X、Y座標ともに安定領域のほぼ中央に設定し、最後にローパスフィルタに通して全体を滑らかにし、設定ZMP軌道パターンとする。

【0063】(4) モーメント補償軌道の算出

まず、モーメント補償に関するパラメータを設定した後、モーメント補償軌道計算を行い、体幹および腰部のモーメント補償軌道を決定する。また、一般に上肢質点位置は肩部の軌道に応じて順運動学計算により求める。手先軌道を指定する場合においては肩部の軌道に応じて逆運動学計算により上肢リンク軌道を算出する。

【0064】(5) 歩行パターンの作成およびファイル出力

以上のように求めた下肢、上肢、腰部および体幹軌道を基に、逆運動学計算により、各関節のアクチュエータ角度を算出する。また全関節分のアクチュエータ角度の時系列データを持って歩行パターンとし、歩行パターンの出力をコマで区切られた値の表であるCSV（コンマセパレートバリュウ）形式で行う。

【0065】次に準リアルタイムパターン生成方式について説明する。

【0066】この場合の準リアルタイムパターン生成は基本的にはこれまで行われてきたパターン切り替えと同様に、一歩行周期ごとに生成されるパターンから任意の1歩を切り出し、接続することで連続したパターンを作り出すものである。

【0067】まず、パターンの各状態について検討すれば、腰・体幹協調型モーメント補償軌道算出アルゴリズムに関して説明した方式によるパターンは図5に示すように大きく3つの状態に分けることができる。

【0068】(1) 静止状態

歩行開始前および歩行終了後の静止した状態である。歩行開始前の静止状態から歩行終了後の静止状態までを1歩行周期として補償軌道は生成される。また、補償軌道はFFTにより求められるため、この静止相には前後最低でも1歩分づつをとり、補償軌道を1歩行周期ごとの周期関数とする必要がある。

【0069】(2) 定常状態

歩行のうち、後述する過渡状態を除いたすべての歩行は定常状態である。

【0070】(3) 過渡状態

歩行開始時および歩行終了時の2歩である。これらは静止状態と定常状態の間にあり、同一の歩幅や歩行の方向であっても、定常とは異なる歩軌道を描く。

【0071】以上のように、一つの歩行周期は5歩未満の場合はすべてが過渡状態のまま歩行を終了し、5歩以上の場合は前後の2歩づつを除き、すべての歩行は定常状態となる。連続した歩行を実現するための単位パターンとしては最低でも一歩の定常状態が必要であるため、本方式では1歩行周期5歩のパターンを基本パターンとする。

【0072】準リアルタイムパターン生成の流れは以下の手順によっている。その流れを図6に示す。

【0073】(1) 足先軌道の指定

本方式の基となっている腰体幹協調型モーメント補償軌

道生成アルゴリズムは任意の足先軌道および腰軌道に対して補償軌道を生成することができるため、本方式では腰軌道は予め指定しておき、足先軌道（歩幅および方向）を毎歩ごとに任意に指定する。

【0074】生成する際、体幹部軌道を固定することで歩軌道の時間軸方向への分岐を最小限にとどめられることが分かっており、本方式についても同様の方式をとることとする。

【0075】（2）歩行状態の把握

本方式においては、歩行の開始から終了まですべてをリアルタイム生成するものとする。そこでまず、現在が静止状態であるのか、過渡状態であるのか、定常状態であるのかを把握する必要がある。その補償としては、歩行は静止→過渡→定常→過渡→静止と遷移していくことを利用してフラグにより現在の状態を把握する。

【0076】（3）立脚の把握

本方式においては、定常状態が1歩であるため、定常歩行中は片足ずつのパターンしか生成することができない。そこで、立脚の状態に応じて歩行開始時最初に振り出す足を変更し、左右交互に生成することで対応している。

【0077】（4）パターンの生成

既に述べた腰体幹協調型モーメント補償軌道算出方式を用いて全5歩の補償軌道を生成する。

【0078】（5）足先軌道の保存

補償軌道を生成する際には現在のみならず、過去、未来の足先軌道が必要である。未来については前記（1）の足先軌道の指定で述べた時間軸方向への広がりがある現在の1歩以内であれば、適当に取ることができるため、歩幅を0.0（m）として計算している。しかし、過去については、軌道の繋がりという面から無視することはできないため、過去3歩分の足先軌道を保存、次の計算に当てるものとする。

【0079】（6）パターンの出力

生成されたパターンのうち、前記（1）の足先軌道の指*

全相数	計算時間（秒）	5ステップ最大相数
1024	1800	146
512	940	73
256	450	32
128	210	18

【0087】このように全相数の削減はほぼ比例して生成時間の減少につながる事が分かる。

【0088】しかしながら、全相数の削減は時系列データの減少そのものであるため、1歩行周期における歩数、時間の短縮を招き、それを回避するためにはデータ自体を粗くし、補間によってその間をまかなわなければならない。

【0089】ここでは、前述した腰・体幹協調型モーメント補償軌道算出アルゴリズムで述べたように全5歩の

* 定で求めた歩行状態により適切な1歩を指定、単位パターンとして出力する。

【0080】次に、パターン生成時間の短縮について説明する。

【0081】準リアルタイムパターンの生成の基本は、腰・体幹協調型モーメント補償軌道算出アルゴリズムについて説明したアルゴリズムを用いたパターン生成を毎歩ごとに行い、それらを連続して出力する。

【0082】しかし、現在のパターン生成時間は1パターン当たり約1.8秒を要しており、このままでは1歩当たり2.0秒程度以上の低速な歩行にしか対応することができない。そこで、パターン生成において指定するパラメータ郡の中からパターン生成時間に関係するものを取り上げ、それらのパラメータを歩行に最低限必要な程度にまで抑えることでパターン生成時間を短縮し、1歩1.0秒程度の歩行にまで対応できるようにする。

【0083】しかし、生成時間を短縮するパラメータのほとんどは、それを減少させることにより歩行の安定性に影響を与えることが予測されるため、予め歩行実験を行うことでそれらのパラメータにより歩行可能な最低限の値を見つけるものとする。

【0084】（1）全相数の削減について

設定するパラメータのうち、生成時間に関係するものとしてまず考えられるのは、全相数である。これは、前述した腰・体幹協調型モーメント補償軌道算出アルゴリズムにおいて生成する足先軌道、腰部軌道、補償軌道などはすべて1歩行周期を全相数とした時系列データとして扱われるため、すべての計算は全相数に対して行われるためである。

【0085】ここで、全相数を減少させる場合、どれほど生成時間が変化するかをシュミレーションを行って見た結果が表1に示される。

【0086】

【表1】

パターンを元とするため、最低でも前後の静止相2歩を含む7歩分を確保しなければならない。したがって、全相数に対して確保できる1歩当りの相数は表1のようになることが分かる。目標である1歩1.0秒の歩行を実現するためにはパターンデータの転送時間なども考えて1パターン当たり0.5秒程度である必要があるため、ここでは仮に全相数を256相とし、1歩当りの相数を現在の半分である32相とする。

【0090】ここでは、与えられたパターンファイルを

指定された補間点数により直線補間して各関節に出力する方式をとるため、1歩当りの相数が減少するという事は、それだけ6次関数により生成された時系列データが粗くなるということを表し、生成されたデータと実機において出力されるデータの相違を生む。これは実機が予想される軌道とは異なる軌道をとるため、歩行の安定性に影響を与えることは必至である。

【0091】そこで、この1歩当りの相数が歩行にどれほど影響を与えるかを、予備歩行実験により調査した。その際のZMP軌道を図7および図8に示す。

【0092】ZMP軌道を見ると、全歩行周期にわたって振動の様子が異なることが分かるが、それが直ぐに歩行の不安定性に直結しているとは言いがたい。これはつまり、この程度の相数の減少であれば、歩行自体に与える影響は少ないものと考えられる。

【0093】(2) 繰り返し計算数の減少
補償軌道は4質点近似モデルにより生成された近似を厳*

* 密モデルに適用した場合のエラーモーメントが或る許容値以下に収まるまで繰り返し計算を行うため、この繰り返し数を減少させることで計算時間を短縮することができる。しかし、繰り返し計算数の減少はエラーモーメントを増加させ、やはり実機との誤差を増大させる原因となる。そこで、歩行実験によりエラーモーメントの増加が歩行に与える影響を調査した。

【0094】ここで、指定するエラーモーメントは許容値であるため、計算回数が同一であれば、実際に発生しているエラーモーメントはその許容値に関係なく同一のものとなる。そこで、許容エラーモーメントを適当に指定し、計算回数を任意にとることで、繰り返し計算数による比較を行った。その際の許容エラーモーメントと計算回数の対応を表2に示す。また、その時のZMP軌道を図9および図10に示す。

【0095】

【表2】

許容エラー モーメント (Nm)	平均繰り返し 回数
0.1	6
0.5	5
1	4
5	3

【0096】ZMP近似を見てみると、計算回数が4回程度まではほとんど変わらない軌道をとっていることが分かる。これはエラーモーメントの発生するZMP軌道のエラーよりも、各関節の応答遅れや着地点の衝撃などの方がはるかに大きいためと考えられる。しかし、計算回数が3回を下回ると明らかに軌道が変化し、計算回数が1回では歩行不能に陥ってしまう。そこで、ここでは、許容エラーモーメントを計算回数が4回以上となる値として0.5 (Nm) に設定する。

【0097】(3) モデルにおける質点数の減少について

前述した(2)の繰り返し計算数の減少について述べたように、4質点モデルによって生成された補償軌道は厳密モデルに適用され、その際のエラーモーメントが或る許容値以内に収まるまで繰り返し計算される。この際、厳密モデルにおいては実機を多数の質点によりモデル化し、与えられた軌道に対して各質点が発生するモーメントを計算、設定ZMPに対するエラーモーメントが計算される。つまり、この厳密モデルにおけるモーメント計算を減少させることは、補償軌道計算の短縮につながる。しかし、厳密モデルにおける質点数の減少はやはり厳密モデルと実機との誤差を生む原因となりかねない。

【0098】現在の質点を図11に示すが、このように現在の質点は各リンクに対して1つとは限らず、場所によっては複数の質点によりモデル化していることが分かる。そこで、これを各リンク当り1つ程度に減少させることで、厳密モデルにおけるモデル計算時間を短縮す

る。この際、モデルの質点の統合は基準となるリンクにおいても各質点が発生するモデルができるだけ同一の値となるように設定する。

【0099】次に、本発明に係る視覚、音声入力システムについて説明する。

【0100】本発明の方式においては、ロボット本体部に、歩行パターン作成に必要な足先軌道の指定に用いる視覚センサおよび/またはマイク音による音声入力センサを設け、前記視覚センサによりステレオ視または単眼によるジェスチャー認識を行って足先軌道生成のための歩幅を決定し、前記音声入力センサは予め設定したコマンドにのみ反応し、かつ音声入力単語により予め単語に関連付けて設定した歩幅を選択するようにしている。したがって歩幅情報さえ与えることができれば、任意の入力デバイスにより入力することができる。ここでは、歩行パターン作成の際必要となる足先軌道の指定に主に視覚センサおよびマイクによる音声入力を用いる。以下、視覚情報入力システムと音声入力システムそれぞれについてセンサ入力と足先軌道決定の関係について説明する。また、これらのシステム構成を図12に示す。

【0101】(1) 視覚情報入力システムについて
視覚情報の入力から足先軌道決定までは以下のような流れとなる。

【0102】(イ) まず、歩行開始前にトラッキングビジョンの初期化および追跡点の指定を行う。追跡点の指定はパソコンのマウスにより行うことができる。ここでは被追従者の両手を追跡点とした。

【0103】(ロ)足先軌道生成のために視覚センサから歩幅を決定する。この場合、前後、左右における追従を行うため視覚センサによりこれら前後、左右方向を認識する必要がある。すでに知られているように、前後方向の認識をするには、ステレオ視を行う必要があり、本発明に係るヒューマノイドロボットもステレオ視に対応したシステムを搭載している。しかしながら、ここでは簡単のためステレオ視は行わず、単眼によるジェスチャー認識により前後、左右方向の追従運動を可能とする。

【0104】ジェスチャー認識は、ステレオ視による追従にも対応できるよう、単眼による疑似的ステレオ視とすることにする。

【0105】これは、1つのカメラ上から2点を追跡し、これらをそれぞれ左右のカメラにおける追跡点とみなし、その2点間の距離の変化に応じて前後方向への移動量とみなすものである。

【0106】まず、左右追跡点の初期値からの移動量を計算する。

$$【0107】dV_R = V_R - V_{R0}$$

$$dV_L = V_L - V_{L0} \quad \dots\dots (3.1)$$

そしてそれらの移動量の差にゲインを掛けて前後方向への歩幅量とする。

$$【0108】F_R = G_R (dV_R - dV_L) \quad \dots\dots (3.2)$$

$$F_L = G_L (dV_R - dV_L) \quad \dots\dots (3.3)$$

また、左右方向では左右追跡点の移動量の平均を取るこ*

* ととする。

【0109】ここで、 V_{R0} 、 V_{L0} ；追跡点の初期値

V_R 、 V_L ；追跡点の現在値

dV_R 、 dV_L ；初期値と現在値の差

F_R ；前後方向歩幅

F_L ；左右方向歩幅

G_R ；前後方向歩幅ゲイン

G_L ；左右方向歩幅ゲイン

とする。

10 【0110】(ハ)決定された歩幅を用いて足先基およびパターンを生成する。パターン生成のタイミングは、タイマによりマスタ側からの生成許可フラグを常に監視し、許可が出るのをまって毎歩ごとに行う。

【0111】(2)音声入力システムについて

音声入力はテキストファイルによる文法コントロールを使用し、予め設定したコマンド以外には反応しないようにする。発生された単語が認識されると、予め単語に関連付けて設定しておいた歩幅が選択され、パターン生成が行われる。ここでは一例として、前、後、右、左、右旋回、左旋回、その場、および停止の8語のみを登録しているが、文法コントロールのテキストファイルを編集し、それに対応した歩幅を設定することで、さまざまな歩行に対応させることが可能である。この実施例での各単語に対する歩幅を表3に示す。

【0112】

【表3】

	Sagittal m	Coronal m	Trunning deg
前	0.10	0.00	0.00
後ろ	-0.10	0.00	0.00
右	0.00	-0.05	0.00
左	0.00	0.05	0.00
右旋回	None	None	-5.00
左旋回	None	None	5.00
その場	0.00	0.00	0.00
停止	None	None	None

【0113】なお、この表でNoneとは現在の歩幅を変更しないことを意味している。

【0114】なお、以上で用いた数式の記号および表記

についての説明を表4および表5にまとめて示す。

【0115】

【表4】

$r_i = [x_i, y_i, z_i]^T$	i 番目の質点の位置ベクトル
$r_{Fk} = [x_{Fk}, y_{Fk}, z_{Fk}]^T$	k 番目の外力、外力モーメントが作用する点の位置ベクトル
$r_T = [x_T, y_T, z_T]^T$	体幹質点の位置ベクトル
$r_W = [x_W, y_W, z_W]^T$	腰部質点の位置ベクトル
$r'_T = [x'_T, y'_T, z'_T]^T$	体幹部のアームベクトル
$r_P = [x_P, y_P, z_P]^T$	点 P の位置ベクトル
$r_{ZMP} = [x_{ZMP}, y_{ZMP}, z_{ZMP}]^T$	ZMP の位置ベクトル
$Q = [x_Q, y_Q, z_Q]^T$	運動座標系 $O'-XYZ$ の原点の位置ベクトル
$\omega = [\omega_x, \omega_y, \omega_z]^T$	運動座標系 $O'-XYZ$ の原点の角速度ベクトル
$G = [g_x, g_y, g_z]^T$	重力加速度ベクトル
$T = [T_x, T_y, T_z]^T$	ZMP における床反力モーメント
$M = [M_x, M_y, M_z]^T$	下肢質点が発生する ZMP におけるモーメント
$M^* = [M^*_x, M^*_y, M^*_z]^T$	モーメント補償計算前に決定される既知モーメント
$M^*_{TRUNK} = [M^*_{xTRUNK}, M^*_{yTRUNK}, M^*_{zTRUNK}]^T$	モーメント補償計算前に決定される既知モーメントのうち体幹に配分されたモーメント
$M^*_{WAIST} = [M^*_{xWAIST}, M^*_{yWAIST}, M^*_{zWAIST}]^T$	モーメント補償計算前に決定される既知モーメントのうち腰に配分されたモーメント
$M_k = [M_{kx}, M_{ky}, M_{kz}]^T$	k 番目の外力作用点に作用する外力モーメント
$F_k = [F_{kx}, F_{ky}, F_{kz}]^T$	k 番目の外力作用点に作用する外力
$e_M = [e_{Mx}, e_{My}, e_{Mz}]^T$	設定 ZMP におけるモーメント誤差
$\varepsilon_M = [\varepsilon_{Mx}, \varepsilon_{My}, \varepsilon_{Mz}]^T$	モーメント誤差の許容値
$E_n = [E_{Mx(n)}, E_{My(n)}, E_{Mz(n)}]^T$	n 回目の繰り返し計算に用いる蓄積したモーメント誤差
$e_{(n)} = [e_{Mx(n)}, e_{My(n)}, e_{Mz(n)}]^T$	n 回目の繰り返し計算の後に算出されたモーメント誤差

【0116】

* * 【表5】

m_i	i 番目の質点の質量
m_{Tr}	体幹部質点群の総質量
m_W	腰部質点群の総質量
m_U	両上肢部質点群の総質量
$m_T = m_{Tr} + m_U$	体幹部および両上肢部質点群の総質量
θ_y	体幹部のヨー軸の回転角度
R	アームベクトル r'_T の長さ

1. 記号上部の線 (例: \bar{r}_i) は運動座標系 $O'-XYZ$ におけるベクトル表現であることを示す。
2. 記号上部の1つの点 (例: \dot{r}_i) は時間に関する1回微分であることを示す。
3. 記号上部の2つの点 (例: \ddot{r}_i) は時間に関する2回微分であることを示す。

【0117】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、ロボットの補償軌道生成において歩行に影響の少ないパラメータを明確にし、補償軌道生成時間を大幅に短縮する

ことにより、歩行中のパターン設定が可能になり、リアルタイムでパターンを設定しつつ人間への追従運動を実現できた。また、2足ヒューマノイドロボットにおいて、関節制御用のコンピュータとパターン管理用のコン

ピュータを併設し、かつDP-RAMで接続することにより、これまでのメモリ容量の制限にとらわれることなく継続的な歩行を実現でき、さらにパターン管理用コンピュータを利用することで通常は制御周期以上に時間のかかる処理を歩行中に行うことができる。また視覚、音声等による足先軌道の設定も容易にできるなど種々の効果がもたらされる。

【図面の簡単な説明】

【図1】安定支持状態における支持多角形上に働く合力およびモーメントを示す図である。

【図2】ヒューマノイドロボットの各質点の座標系およびこれに作用する力のベクトル表示を示す図である。

【図3】4質点の近似モデルを示す図である。

【図4】2足ヒューマノイドロボットの「方向転換可能なモーメント補償量配分型の腰・体幹協調型モーメント補償軌道算出アルゴリズム」のフローチャートを示す図である。

【図5】2足ヒューマノイドロボットの下肢部分の歩行パターンを示す図である。

【図6】準リアルタイムパターン生成手順のフローチャートを示す図である。

*【図7】1歩当りの相数が歩行に与える影響を説明するためのY-ZMP軌道を示す図である。

【図8】1歩当りの相数が歩行に与える影響を説明するためのX-ZMP軌道を示す図である。

【図9】1歩当りの相数が歩行に与える影響を説明するためのY-ZMP軌道を示す図である。

【図10】1歩当りの相数が歩行に与える影響を説明するためのX-ZMP軌道を示す図である。

【図11】2足ヒューマノイドロボットの各質点の重量配置図を示す図である。

【図12】本発明に係るリアルタイムパターン生成のシステム全体の流れを示す図である。

【符号の説明】

X ロール軸

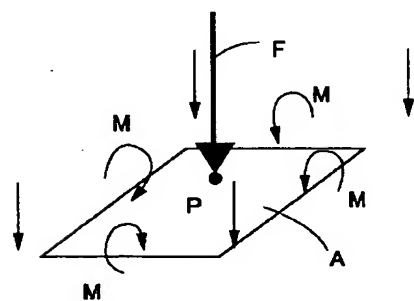
Y ピッチ軸

Z ヨー軸

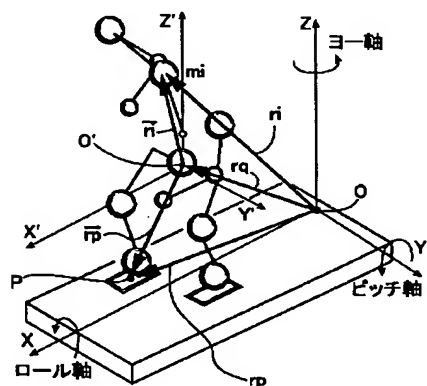
O-XYZ X軸およびY軸を含む平面が路面に一致し、路面に垂直な軸をZ軸として原点が路面に固定された絶対座標系

O'-X'Y'Z' 原点がヒューマノイドロボットの腰部付近に固定されている運動座標系

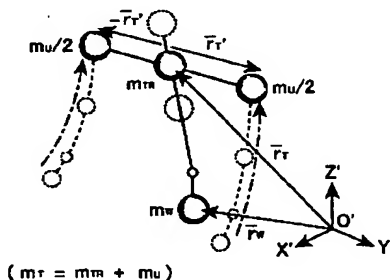
【図1】



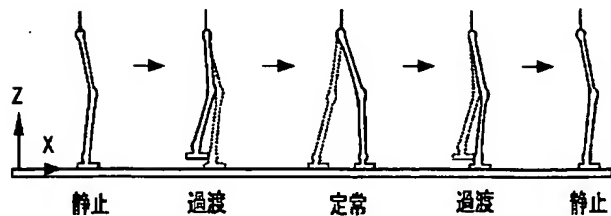
【図2】



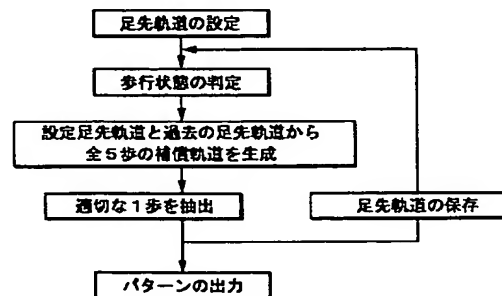
【図3】



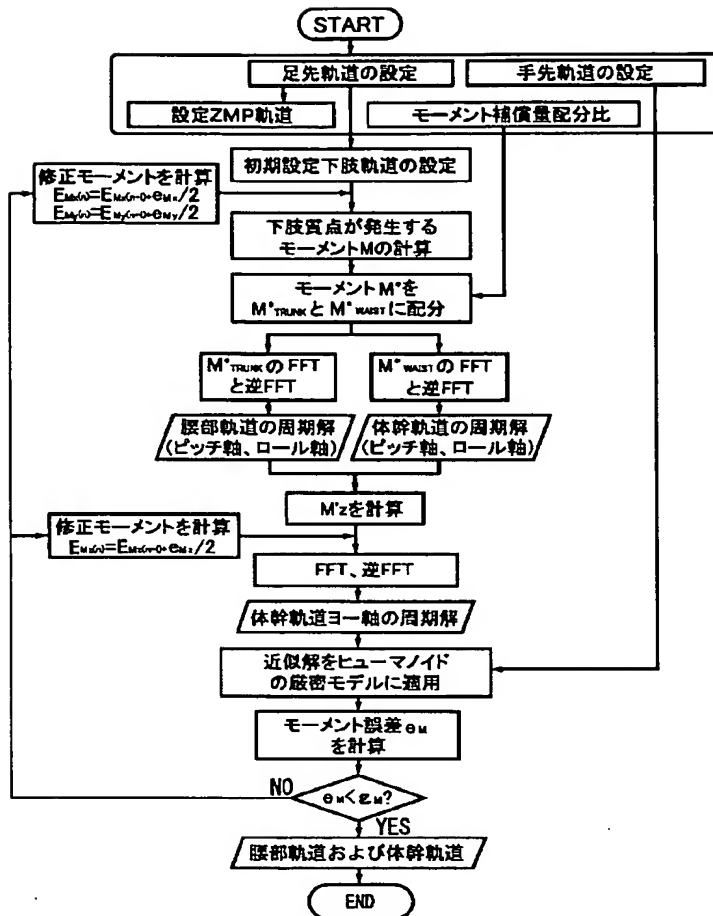
【図5】



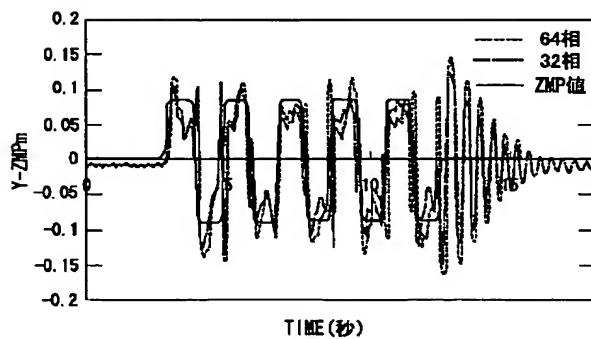
【図6】



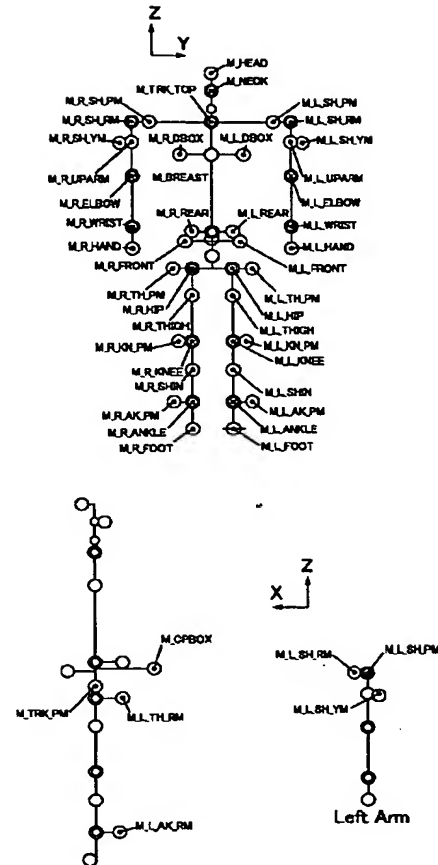
【圖 4】



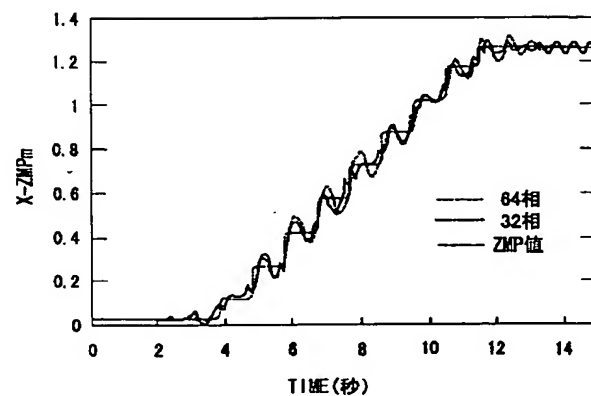
【圖 7】



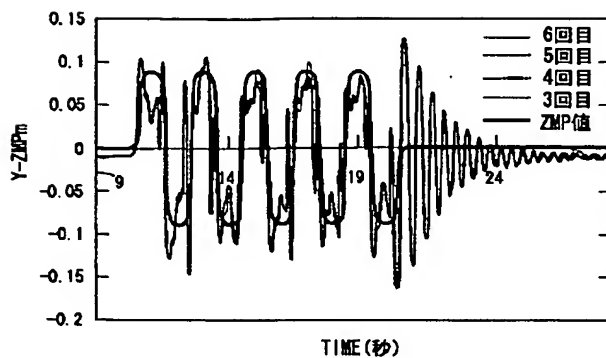
【圖 1 1】



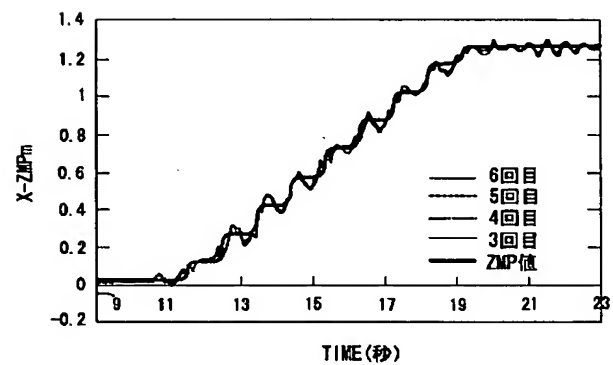
【圖8】



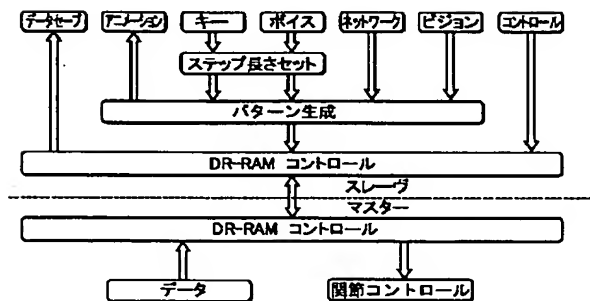
【図9】



【図10】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 安藤 俊平
東京都新宿区大久保三丁目4番1号 早稲
田大学理工学部内
(72)発明者 佐藤 基広
東京都墨田区石原4-20-3 神谷ビル
301号

(72)発明者 菅原 雄介
東京都新宿区大久保三丁目4番1号 早稲
田大学理工学部内
Fターム(参考) 3C007 AS36 CS08 KS39 KT01 LV12
WA03 WA13 WB05 WB07 WB17
WB19